

Die Ableitung des Blattflächenindex von Weizenbeständen aus abbildenden Hyperspektraldaten

BASTIAN SIEGMANN¹, THOMAS JARMER¹, HOLGER LILIENTHAL², NICOLE RICHTER²,
THOMAS SELIGE³ & BERNHARD HÖFLE⁴

Zusammenfassung: Der Blattflächenindex (LAI) ist ein wichtiger Input-Parameter für Ertragsmodelle in der Landwirtschaft. Die räumliche Erfassung des LAI war in der Vergangenheit sehr zeitaufwendig und kostenintensiv. Hyperspektrale Fernerkundungsdaten bieten dagegen die Möglichkeit, den LAI und andere wichtige Vegetationsparameter in ihrer räumlichen Variabilität für große Gebiete flächendeckend aus einem Datensatz zu ermitteln. In der vorliegenden Studie wird der Blattflächenindex aus hyperspektralen Daten des Sensors AISA-DUAL für einen Weizenschlag abgeleitet. Die Ergebnisse ($r^2_{cv}=0,903$; $RMSE_{cv}=0,226$) veranschaulichen, dass Hyperspektraldaten für landwirtschaftliche Fragestellungen eine zunehmend wichtige Informationsquelle sind.

1 Einleitung

Biochemische Inhaltsstoffe wie Pigmente, Wasser und Nährstoffe beeinflussen die spektrale Reflexion von Pflanzen. Der Blattflächenindex (LAI - leaf area index), der das Verhältnis der Blattoberfläche zur Bodenfläche angibt, erlaubt Rückschlüsse auf die fotosynthetische Aktivität und damit auf die Produktivität der Vegetation (DUCHEMIN et al. 2006). Der LAI ist ein integratives Maß für die biotischen und abiotischen Einflussbedingungen und daher ein wichtiger Faktor für die Güte von Ertragsprognosen im Bereich der Landwirtschaft, da er von ertragsreduzierenden Faktoren wie Pflanzenkrankheiten und Bewirtschaftungsfehlern maßgeblich beeinflusst wird (BOEGH et al. 2002, CARTER 1994, DAUGHTRY et al. 1992). In der Vergangenheit war die räumliche Erfassung der saisonalen Veränderungen des Blattflächenindex durch Messtechniken im Gelände nur begrenzt möglich. Der zunehmende Einsatz multispektraler Fernerkundungsdaten in den letzten Jahrzehnten hat die räumliche Vorhersage des LAI deutlich verbessert. Zusätzlich steht gegenwärtig eine immer größere Anzahl an hyperspektralen Sensoren zur Verfügung, mit Hilfe derer Daten eine noch genauere Erfassung der saisonalen Veränderungen des LAI ermöglicht wird (LEE et al. 2004).

- 1) Bastian Siegmann, Thomas Jarmer, Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Universität Osnabrück, Barbarastrasse 22b, D-49076 Osnabrück; E-Mail: bsiegmann@igf.uni-osnabrueck.de, tjarmer@igf.uni-osnabrueck.de
- 2) Holger Lilienthal, Nicole Richter, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig; E-Mail: holger.lilienthal@jki.bund.de, nicole.richter@jki.bund.de
- 3) Thomas Selige, Lehrstuhl für Bodenökologie, TU München, Ingolstädter Landstrasse 1, D-85764 Neuherberg; E-Mail: selige@wzw.tum.de
- 4) Bernhard Höfle, Geographisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Berliner Straße 48, 69120 Heidelberg; E-Mail: hoefle@uni-heidelberg.de

In diesem Zusammenhang wird in der vorgestellten Studie das Potenzial hyperspektraler Daten des Sensors AISA-DUAL (Airborne Imaging Spectrometer for Application) untersucht. Mit Hilfe der Daten wird eine flächendeckende Vorhersage des Blattflächenindex für einen Weizenschlag vorgenommen, der sich nordwestlich der Stadt Köthen in Sachsen-Anhalt befindet (Lat 51°47,62' / Long 11°54,90').

2 Datengrundlage

2.1 Untersuchungsgebiet

Der untersuchte Weizenschlag hat eine Größe von 80 ha und befindet sich südlich der Ortschaft Wulfen in Sachsen-Anhalt (Abb.1). Aufgrund der Lage des Untersuchungsgebietes im Regenschatten des Harzes beträgt die jährliche Niederschlagssumme lediglich 430 mm. Damit ist die Region ein Teil des mitteldeutschen Trockengebietes. Die jährliche Durchschnittstemperatur liegt bei 9°C. Schwarzerden sind der vorherrschende Bodentyp im Untersuchungsgebiet.

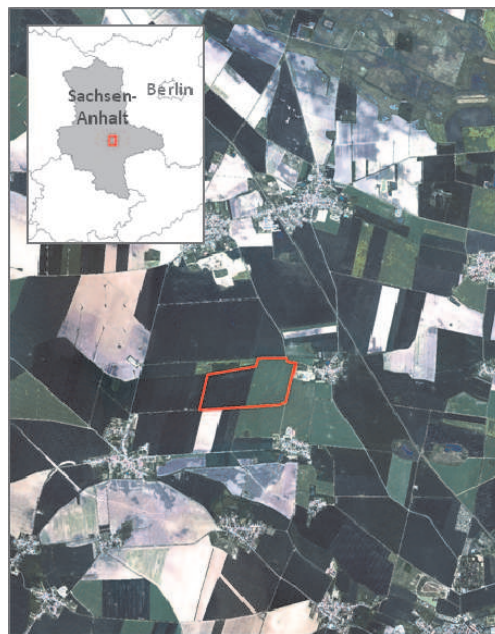


Abb. 1: Untersuchungsgebiet mit ausgewähltem Weizenschlag

2.2 Felddaten

Während einer Geländekampagne vom 7. bis 10. Mai 2011 wurden an 31 Standorten innerhalb des untersuchten Weizenschlages neben dem LAI, der Chlorophyllgehalt, die Bestandshöhe sowie die Biomasse bestimmt. Da die Bestimmung der Biomasse destruktiv erfolgte, wurden 0,5 x 0,5 m Plots abgeerntet, um die Schäden innerhalb des Weizenschlages so gering wie möglich zu halten. Die Auswahl der Position der einzelnen Messflächen erfolgte im Vorfeld der Geländekampagne, sodass die heterogenen Bestandsstrukturen innerhalb des Ackerschlagel möglichst gut abgebildet werden konnten (vgl. Abb. 2).

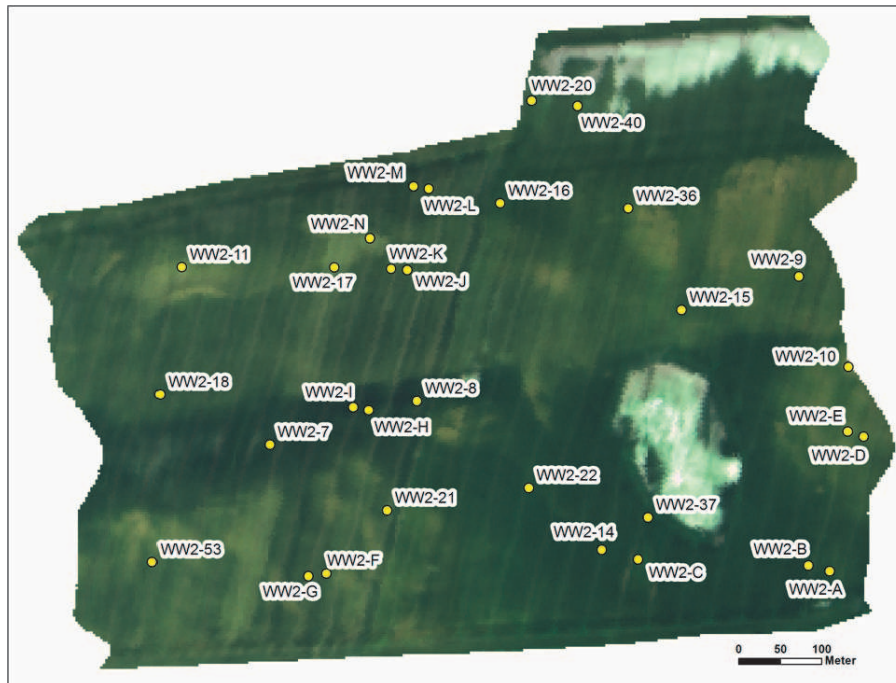


Abb. 2: Untersuchter Weizenschlag mit Messflächen (Hintergrund AISA-DUAL)

Der Blattflächenindex wurde an jeder Messfläche mit einem SunScan (Delta-T Devices Ltd.-USA) jeweils 6-mal gemessen und die Einzelmessungen gemittelt. Um nicht-repräsentative Einzelmessungen ausschließen zu können, erfolgte die Bildung der Mittelwerte nur aus den Messungen, die innerhalb der einfachen Standardabweichung lagen.

2.3 Bilddaten

Zeitgleich zur Geländekampagne fand am 10.05.2011 eine Befliegung des Untersuchungsgebietes mit dem flugzeuggetragenen Hyperspektralsensor AISA-DUAL (Specim-Finnland) des UFZ Leipzig (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung) statt. Die Aufzeichnung der Bilddaten erfolgte in 367 Spektralkanälen mit einer geometrischen Auflösung (GSD) von 3m. Die radiometrische Korrektur der Daten wurde zunächst mit der Software CaliGeo durchgeführt. Anschließend erfolgte eine zusätzliche Korrektur der Daten mit Hilfe des Programms ROME (Reduction Of Miscalibration Effects), um Streifen in den Bilddaten zu beseitigen, die sich nach der radiometrischen Korrektur zeigten (ROGAß et al. 2011). Dadurch konnten die fehlerhaften Bildpixel, die sich in Form von Streifen entlang der Flugrichtung durch die Bilddaten ziehen, verringert, aber nicht komplett beseitigt werden. Der nächste Prozessierungsschritt bestand in der Atmosphärenkorrektur der Daten. Dazu wurde die Software FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of spectral Hyper cubes) verwendet, die in ENVI implementiert ist. Während der Befliegung wurden zusätzlich helle und dunkle Referenzflächen am Boden mit einem ASD FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices Inc.-USA) spektral gemessen. Mit Hilfe der Reflexionsspektren der Referenzflächen wurde eine Empirical-Line-Korrektur der Bilddaten durchgeführt, um die Reflexionswerte der Bilddaten noch besser an die spektralen Gelände-

messungen anzupassen (SMITH & MILTON 1999). Abschließend erfolgte die geometrische Korrektur der Daten, wozu erneut die Software CaliGeo verwendet wurde. Abbildung 3 zeigt drei Reflexionsspektren der vollständig prozessierten AISA-DUAL Daten und die dazugehörigen LAI-Werte der entsprechenden Messflächen mit Fotos. Es wird deutlich, dass sich die unterschiedlich hohen Werte des Blattflächenindex auch in den Spektralkurven der Bildpixel widerspiegeln.

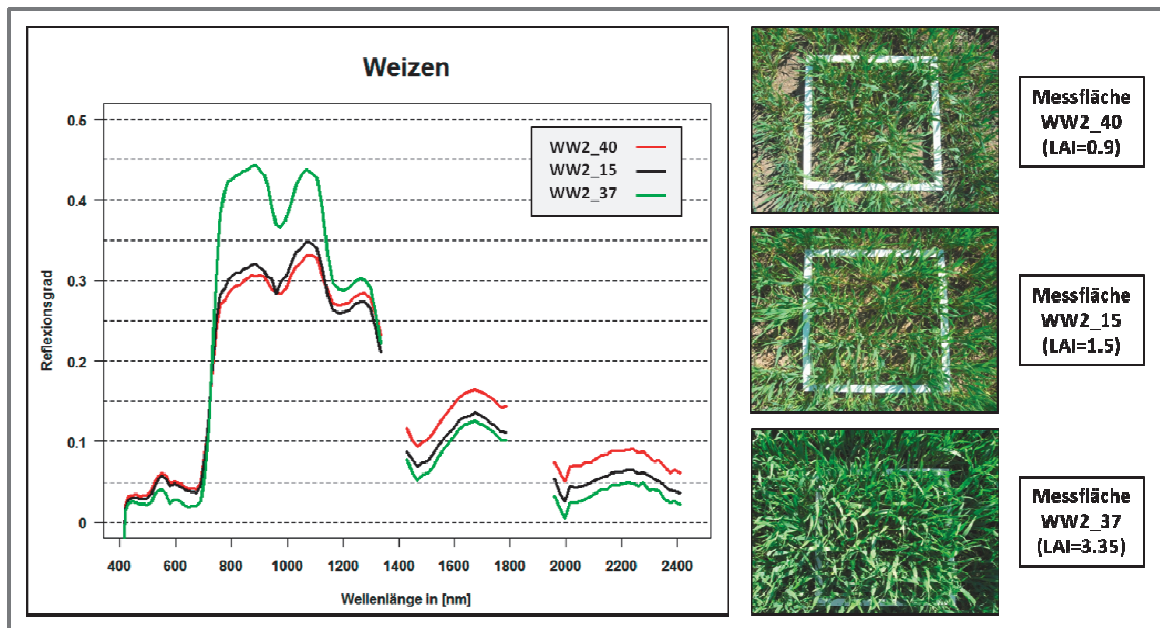


Abb. 3: Reflexionsspektren (AISA-DUAL) dreier Messflächen mit LAI-Werten und Fotos

3 Methodik

3.1 Partial Least-Squares Regression

Zunächst wurden die Bildpixel aus den AISA-DUAL Daten extrahiert, die von der Lage her den 31 Messflächen des Weizenschlages entsprechen. Mit Hilfe der punktuellen LAI-Messungen im Gelände und den extrahierten Bildspektren wurde ein Partial-Least Squares Regressionsmodell (PLSR) zur Schätzung des Blattflächenindex aus den AISA-DUAL Daten entwickelt. Es erfolgte dabei eine Begrenzung der latenten Variablen auf den maximalen Wert von 10. Die Kreuzvalidierung (cross-validation, cv) der Ergebnisse der PLSR wurde anhand der „leave-one-out“-Methode vorgenommen. Als Maße für die Schätzgenauigkeit wurden das Bestimmtheitsmaß (r^2_{cv}), der Quadratwurzelfehler ($RMSE_{cv}$) und das Verhältnis des Standardfehlers der Vorhersage zur Standardabweichung (RPD) herangezogen (MALLEY et al. 2004). Zusätzlich wurde eine Methode zur Ermittlung von Ausreißern angewandt. Dabei werden Werte, deren studentized Residuen um mehr als $\pm 2,5$ abweichen, als Ausreißer detektiert und von den weiteren Analysen ausgeschlossen (PELL 2002).

3.2 Kanalreduzierung der Bilddaten

Die Spektralkurven der prozessierten AISA-DUAL Pixel weisen ein starkes Rauschen auf. Eine Methode das Rauschen in den Spektraldaten zu reduzieren, besteht in einem Spectral Binning der Daten. Dabei werden mehrere Spektralkanäle zu einem Kanal zusammengefasst, um das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) zu erhöhen (DELL'ENDICE et al. 2009). In diesem Zusammenhang wurden jeweils drei benachbarte Kanäle in den AISA-DUAL Daten über die Bildung eines Mittelwertes zusammengefasst. Dadurch wurde die Anzahl der Kanäle von 367 auf 122 reduziert und das Rauschen in den Daten verringert.

4 Ergebnisse

Der Wertebereich des LAI der im Gelände erfassten Messflächen ist aufgrund des saisonalen Zeitpunkts noch relativ gering und liegt zwischen 0,4 und 3,7 (vgl. Tab. 1). Außerdem weist der Mittelwert von 1,52 darauf hin, dass Flächen mit niedrigen LAI-Werten überwiegen. Die gemessenen LAI-Werte sind normalverteilt.

Tab. 1: Deskriptive Statistik der im Gelände ermittelten LAI-Werte

	n	Min	Max	Mean	SD
Weizen	31	0,40	3,70	1,52	0,72

Zur Schätzung des Blattflächenindex aus den AISA-DUAL Daten wurde jeweils ein Regressionsmodell für den Originaldatensatz mit 367 Spektralkanälen und für den kanal-reduzierten Datensatz mit 122 Spektralkanälen erstellt. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden die in einem Datensatz als Ausreißer detektierten Proben auch im jeweils anderen Datensatz ausgeschlossen. Die Ergebnisse der PLS-Regression zeigen, dass sowohl in den Originaldaten mit 367 Kanälen ($r^2_{cv}=0,903$; $RMSE_{cv}=0,226$; $RPD=3,26$) als auch in den Daten mit nur 122 Kanälen ($r^2_{cv}=0,868$; $RMSE_{cv}=0,263$; $RPD=2,796$) der LAI mit einer hohen Genauigkeit geschätzt werden konnte (vgl. Abb. 4). Der RPD liegt in beiden Regressionsmodellen weit über dem Wert 2, was ein Anzeichen für die hohe Robustheit beider Regressionsmodelle ist (DUNN et al. 2004).

Tab. 2: Ergebnisse der PLS-Regression des LAI für die AISA-DUAL Daten mit 367 und 122 Kanälen

Datensatz	n	r^2_{cv}	$RMSE_{cv}$	RPD	LV
367 Kanäle	29	0,903	0,226	3,256	5
122 Kanäle	29	0,868	0,263	2,796	4

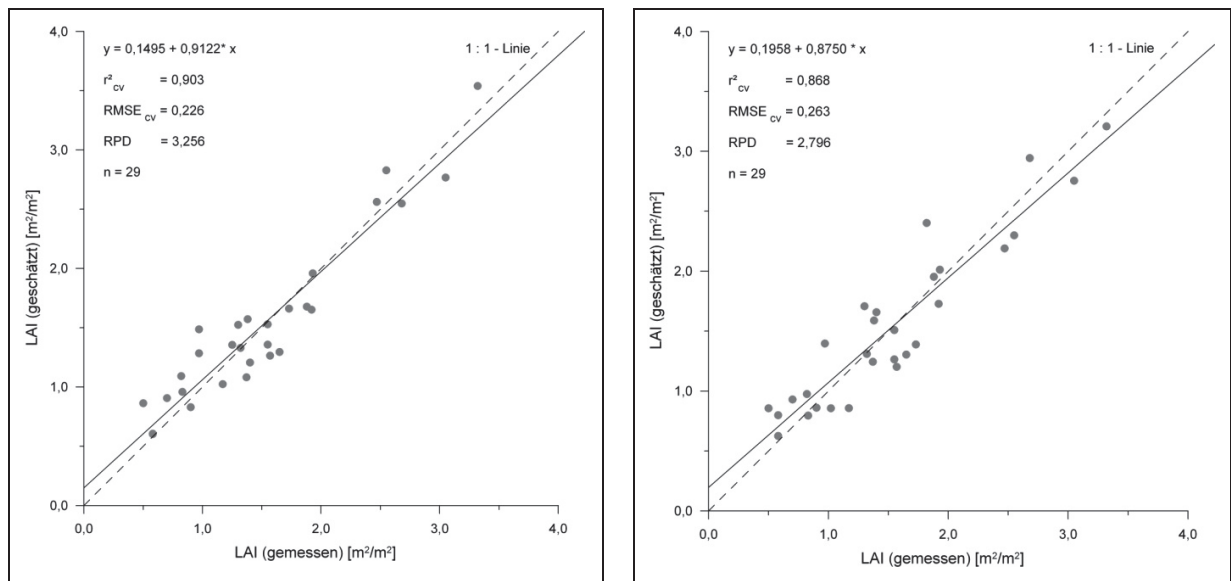


Abb. 4: Scatterplots der PLS-Schätzung (kreuzvalidiert) des LAI für 367 (links) und 122 Kanäle (rechts). Die Residuen sind normalverteilt und der Mittelwert der Residuen ist nicht signifikant von 0 verschieden.

Das erstellte Regressionsmodell für 367 Kanäle wurde im Anschluss auf die AISA-DUAL Bilddaten übertragen, um die räumliche Variabilität des LAI auf dem untersuchten Weizenschlag zu erfassen (Abb. 5).

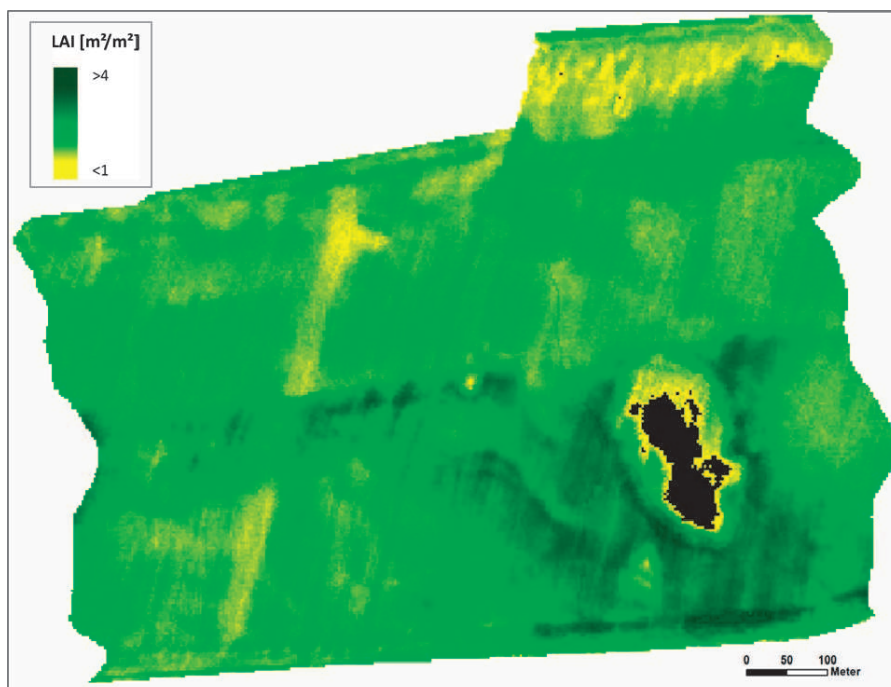


Abb. 5: Geschätzte LAI-Werte des Weizenschlages aus den AISA-DUAL Daten (367 Kanäle)

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass der LAI mit hoher Genauigkeit aus den AISA-DUAL Bildpixeln vorhergesagt werden kann. Die geschätzten LAI-Werte liegen im Wertebereich der Feldanalytik und spiegeln die räumlichen Unterschiede innerhalb des Ackers wider. Die Ergebnisse verdeutlichen zusätzlich das große Potenzial hyperspektraler Fernerkundungsdaten gegenüber herkömmlichen oft ungenauen und zeitaufwendigen Methoden zur räumlichen Erfassung des LAI. Durch die Erfassung der räumlichen Variabilität des LAI auf der untersuchten Fläche können verbesserte Ertragsprognosen erstellt werden.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie viele Spektralkanäle notwendig sind, um eine robuste Parameterschätzung zu gewährleisten. Obwohl die Reduzierung der AISA-DUAL Daten von 367 auf 122 Kanäle eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses zur Folge hatte, konnte kein signifikanter Unterschied in den Ergebnissen der PLS-Regressionen festgestellt werden. Eine Reduzierung der Spektralkanäle während der Kalibrierung des Sensors würde jedoch zu einer Reduzierung des aufgezeichneten Datenvolumens führen, was den Zeitaufwand der anschließenden Prozessierung der Daten erheblich verkürzt. Allerdings könnte dies auch negative Auswirkungen auf die Atmosphärenkorrektur haben und sollte daher noch weiter untersucht werden.

In weiterführenden Untersuchungen sollen noch zusätzliche Messflächen des untersuchten Weizenschlags mit einbezogen werden, die sich auf dem östlich und westlich angrenzenden Befliegungsstreifen befinden. Diese wurden mit Hilfe der gleichen Vorverarbeitungsschritte prozessiert, weisen aber Unterschiede in der absoluten Höhe der Reflexion auf, was sich negativ auf die Vorhersagegenauigkeit des LAI auswirkt. Daher besteht ein Ziel darin, die Unterschiede bezüglich der Reflexionshöhe benachbarter Bildstreifen zu beseitigen, sodass in Zukunft auch komplette Ackerschläge auf Grundlage von AISA-DUAL Daten untersucht werden können.

Acknowledgements

Die Arbeit wurde im Rahmen des EnMAP Vorbereitungsprogramms durchgeführt und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des Projektes „Hyland“ (FKZ 50EE1014) finanziert. Darüber hinaus danken wir Daniel Doktor (Helmholtz Zentrum für Umweltforschung Leipzig) und Patrick Hostert (Humboldt Universität zu Berlin) für die Bereitstellung ihrer Messinstrumente.

6 Literaturverzeichnis

BOEGH, E., SOEGAARD, H., BROGE, N., BROGE, N., HASAGER, C.B., JENSEN N.O., SCHELDE, K. & THOMSEN, A., 2002: Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture. *Remote Sensing of Environment*, **81** (2–3), S. 179–193.

- CARTER, G.A., 1994: Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *International Journal of Remote Sensing*, **15** (3), S. 697–703.
- DAUGHTRY, C.S.T., GALLO, K.P., GOWARD, S.N., PRINCE, S.D. & KUSTAS, W.D., 1992: Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. *Remote Sensing of Environment*, **39** (141-152), S. 141– 152.
- DELL'ENDICE, F., NIEKE, J., KOETZ, B., SCHAEPMAN, M.E. & ITTEN, K., 2009: Improving radiometry of imaging spectrometers by using programmable spectral regions of interest. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **64** (6), S. 632-639.
- DUCHEMIN, B., HADRIAB, R., ERRAKIB, S., BOULETA, G., MAISONGRANDEA, P., CHEBOUNIA, A., ESCADAFAL, R., EZZAHARB, J., HOEDJESA, J.C.B., KHARROUD, M.H., KHABBAB, S., MOUGENTO, B., OLIOSE, A., RODRIGUEZ, J.C. & SIMONNEAUXA, V., 2006: Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: On the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. *Agricultural Water Management*, **79** (1), S. 1-27.
- DUNN, B.W., BEECHER, H.G., BATTEN, G.D. & CIAVARELLA, S., 2002: The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis-A case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia . *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **42** (5), S. 607-614.
- LEE, K., COHEN, W.B., KENNEDY, R.E., MAIERSPERGER, T.K. & GOWER, S.T., 2004: Hyperspectral versus multispectral data for estimating leaf area index in four different biomes. *Remote Sensing of Environment*, **91** (3-4), S. 508-520.
- MALLEY, D.F., MARTIN, P.D. & BEN-DOR, E., 2004: Application in analysis of soils. Near-infrared spectroscopy in agriculture, **44**, S. 729-783.
- PELL, R.J., 2000: Multiple outlier detection for multivariate calibration using robust statistical techniques. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **52** (1), S. 87-104
- ROGAß, C., SPENGLER, D., BOCHOW, M., SEGL, K., LAUSCH, A., DOKTOR, D., ROESSNER, S., BEHLING, R., WETZEL, H.-U. & KAUFMANN, H., 2011: Reduction of Radiometric Miscalibration-Application to Pushbroom Sensors. *Sensors*, **11**, S. 6370-6395.
- SMITH, G.M. & MILTON, E. J., 1999: The use of the empirical line method to calibrate remotely sensed data to reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, **20** (13), S. 2653-2662.